

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :

H04L 27/26, 5/06

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 96/41458

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum:

19. December 1996 (19.12.96)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP96/02209

(22) Internationales Anmeldedatum: 23. Mai 1996 (23.05.96)

(30) Prioritätsdaten:

195 20 353.4

7. Juni 1995 (07.06.95)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):  
DEUTSCHE THOMSON-BRANDT GMBH [DE/DE];  
Hermann-Schwer-Strasse 3, D-78048 Villingen-  
Schwenningen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MUSCHALLIK, Claus  
[DE/DE]; Brunnenstrasse 28, D-78050 Villingen-  
Schwenningen (DE). ARMBRUSTER, Veit [DE/DE];  
Engelweg 5, D-78112 St. Georgen (DE).(81) Bestimmungsstaaten: BR, CN, JP, KR, MX, US, europäisches  
Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

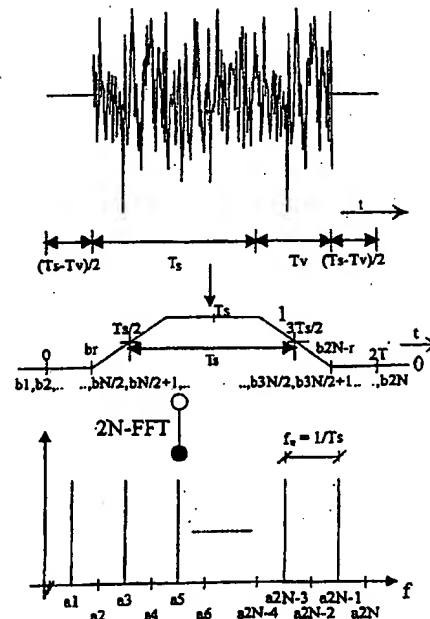
Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen  
Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen  
eintreffen.(54) Title: METHOD AND CIRCUIT ARRANGEMENT FOR IMPROVING CARRIER SEPARATION FOR THE TRANSMISSION  
OF OFDM SIGNALS(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND SCHALTUNGSANORDNUNG ZUR VERBESSERUNG DER TRÄGERTRENNUNG BEI DER  
ÜBERTRAGUNG VON OFDM SIGNALEN

## (57) Abstract

In the OFDM methods, a plurality of modulated carriers are transmitted by frequency multiplexing, which results in an almost rectangular spectrum owing to the high number of carriers. In order to separate the carriers from one another again in the receiver, a fast Fourier transform is carried out such that each carrier can be cleanly separated from the others when the carriers are exactly orthogonal relative to one another. However, the orthogonality of the carriers can be disturbed by various causes. Furthermore, in the receiver the useful signal has to be separated from the undesired neighbouring channel signals by analog or digital filtration. In order to improve carrier and channel separation, the selectivity of FFT filtration can be increased by increasing the number of FFT components. However, this normally leads to an undesirably high increase in computing steps. The claimed configuration of the time window used within the context of the FFT and oversampling before the FFT render the calculation of some of the coefficients superfluous.

## (57) Zusammenfassung

Bei dem OFDM-Verfahren werden eine Vielzahl modulierter Träger im Frequenzmultiplex übertragen, wobei sich durch die hohe Trägeranzahl ein Spektrum mit einer fast rechteckigen Form ergibt. Um die Träger im Empfänger wieder voneinander zu trennen, wird eine Fast-Fourier-Transformation durchgeführt, wobei jeder Träger dann sauber von den anderen getrennt werden kann, wenn die Träger exakt orthogonal zueinander sind. Die Trägerorthogonalität kann jedoch durch verschiedene Ursachen gestört werden. Ferner muß im Empfänger das Nutzsignal von den unerwünschten Nachbarkanalsignalen durch eine analoge oder digitale Filterung getrennt werden. Zur Verbesserung der Träger- und Kanaltrennung kann die Selektivität der FFT-Filterung durch eine Vergrößerung der Anzahl der FFT-Komponenten erhöht werden. Dieses führt jedoch normalerweise zu einer unerwünscht starken Zunahme des Rechenaufwandes. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des im Rahmen der FFT verwendeten Zeitfensters sowie eine Überabtastung vor der FFT wird es jedoch ermöglicht, auf die Berechnung eines Teils der Koeffizienten zu verzichten.



## VERFAHREN UND SCHALTUNGSANORDNUNG ZUR VERBESSERUNG DER TRÄGERTRENNUNG BEI DER ÜBERTRAGUNG VON OFDM SIGNALEN.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen.

### Stand der Technik

Bei dem OFDM-Verfahren (Orthogonally Frequency Division Multiplexing) wird nicht ein Träger für jedes Programm verwendet, sondern eine Vielzahl modulierter Träger, die im Frequenzmultiplex übertragen werden. Die Modulationsart kann z. B. eine QPSK, eine 64QAM oder auch eine andere digitale Modulationsart sein. Die Frequenzen der  $N$  Träger weisen äquidistante Abstände  $f_{tr}$  auf und werden derart gewählt, daß sie ein orthogonales Funktionensystem bilden. Durch die hohe Trägeranzahl ergibt sich hierbei ein Spektrum mit einer fast rechteckigen Form, sodaß das OFDM-Signal im benutzten Band eine konstante Leistungsdichte aufweist, ähnlich wie beim bandbegrenzten weißen Rauschen.

Die Programmsignale werden in Symbole der Dauer  $T_s = 1/f_{tr}$  zerlegt und auf die  $N$  verschiedenen Trägerfrequenzen verteilt. Hierbei wird jedem OFDM-Symbol ein Guard-Intervall der Länge  $T_g$  zugewiesen, in dem ein Teil des Symbols wiederholt wird, um das Signal gegen Echos unempfindlich zu machen.

Um die Träger im Empfänger wieder voneinander zu trennen, wird eine Fast-Fourier-Transformation (FFT) der Länge  $N$  durchgeführt, wobei jeder Träger dann sauber von den anderen getrennt werden kann, wenn die Träger exakt orthogonal zueinander sind.

Die Trägerorthogonalität kann jedoch durch verschiedene Ursachen gestört werden. So kann eine Frequenzabweichung der Träger oder eine Verbreiterung der Träger durch Phasenrauschen erfolgen. Die Orthogonalität wird auch gestört, falls Frequenzanteile vorhanden sind, die zwischen den Trägern liegen. Dieses kann durch weißes Rauschen oder eine harmonische Störung, deren

Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen durch eine saubere Träger- und Kanaltrennung anzugeben. Diese Aufgabe wird durch das in Anspruch 1 bzw. 6 angegebene Verfahren gelöst.

Der Erfindung liegt die weitere Aufgabe zugrunde, eine Schaltungsanordnung zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens anzugeben. Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 8 bzw. 11 angegebene Schaltungsanordnung gelöst.

Zur Verbesserung der Trennung der  $N$  Träger kann die Selektivität der FFT-Filterung durch eine Vergrößerung der Anzahl der FFT-Komponenten erhöht werden. Dieses führt jedoch normalerweise zu einer unerwünscht starken Zunahme des Rechenaufwandes, da die Länge der FFT und damit die Anzahl der berechneten Koeffizienten ein ganzzahliges Vielfaches von  $N$  betragen muß. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des im Rahmen der FFT verwendeten Zeitfensters ist es jedoch möglich, auf die Berechnung eines Teils der Koeffizienten zu verzichten. Die Implementation des Fensters kann hierbei, je nach Sendesignal und Sendebedingungen, adaptiv an die Sendeverhältnisse mit Hilfe einer Schätzung der Kanaleigenschaften angepaßt werden.

Die Kanaltrennung kann verbessert werden, wenn im Empfänger vor der FFT das Signal überabgetastet wird. Die erfindungsgemäße Wahl der Überabtastung ermöglicht dann, auch hier auf die Berechnung eines Teils der Koeffizienten zu verzichten und eine relativ einfache analoge Filterung zu verwenden, da dann keine steile Filterung mehr nötig ist.

Bei der Träger- und Kanaltrennung kann die FFT nach dem Prinzip der Reduktion im Frequenzbereich (decimation-in-frequency) durchgeführt werden, so daß nur die erste Stufe einer FFT mit allen Koeffizienten berechnet werden muß. Die weiter verwendeten Koeffizienten werden dann entsprechend einer normalen  $N$ -FFT

digitalen Signalen, bei denen eine Übertragung in mehreren Kanälen erfolgt, wobei je Kanal  $N$  Trägerfrequenzen verwendet werden und in einem Empfänger einer der Kanäle selektiert wird, eine Abtastung des Signals und eine Fouriertransformation erfolgt, darin, daß bei der Abtastung  $M_2 \cdot N$  Abtastwerte erzeugt werden, die Länge der Fouriertransformation  $M_2 \cdot N$  beträgt und durch die Fouriertransformation die mittleren  $N$  Koeffizienten berechnet werden.

Vorteilhaft werden die Merkmale von Anspruch 6 mit den Merkmalen von einem der Ansprüche 1 bis 5 kombiniert.

Im Prinzip besteht die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung für ein Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, bei der die übertragenen Signale einer ersten Einheit zugeführt werden, in der eine Abtastung der Signale und eine Umwandlung in I/Q-Signale erfolgt, eine Frequenzanpassung der I/Q-Signale mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit erfolgt und in einem Prozessor die Trennung der  $N$  Trägerfrequenzen durchgeführt wird, darin, daß im Prozessor neue Symbole der Dauer  $M_1 \cdot T_s$  erzeugt werden, eine Fensterung mit Zeitfenstern der Breite  $M_1 \cdot T_s$  erfolgt, eine Fouriertransformation der Länge  $M_1 \cdot N$  durchgeführt wird und nur der  $1/M_1$ -Teil der Koeffizienten berechnet wird.

Vorteilhaft wird zur Erzeugung der neuen Symbole die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle von einer Detektoreinheit bestimmt.

Vorteilhaft besteht die erste Einheit aus einem A/D-Wandler und einem digitalen Filter.

Im Prinzip besteht die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung für ein Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen nach Anspruch 6, bei der die übertragenen Signale einer ersten Einheit zugeführt werden, in der eine Abtastung der Signale und eine Umwandlung in I/Q-Signale erfolgt, eine Frequenzanpassung der I/Q-Signale mit

Ausführungs-Beispiel

In Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Verbesserung der Trägertrennung dargestellt. Das Spektrum des OFDM-Signals weist im Zeitbereich einen scheinbar rauschartigen Verlauf auf, wie in Fig. 1A dargestellt. Es wird nun eine Erhöhung der Dauer eines Symbols auf das doppelte (oder  $2^N$ -fache) im Sender z.B. durch Verlängerung des Guard-Intervalls durchgeführt. Aus diesem Signal werden  $2N$  Abtastwerte  $b_1, b_2, b_3, \dots, b_{2N-1}, b_{2N}$  abgetastet, wobei die Abtastwerte entsprechend Fig. 1B mit einem Zeitfenster multipliziert werden, um die einzelnen Symbole voneinander zu trennen. Das rechteckige Zeitfenster hat hierbei eine Länge von  $2 \cdot T_s$ . Innerhalb dieser Zeit berechnet eine FFT der Länge  $2N$  aus den Abtastwerten die  $2N$  komplexen Koeffizienten  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{2N-1}, a_{2N}$ . Diese Koeffizienten enthalten die im Sender modulierte Information jedes einzelnen Trägers, wobei, wie in Fig. 1C gezeigt, von den  $2N$  Koeffizienten nur die Koeffizienten  $a_1, a_3, a_5, a_7, \dots, a_{2N-1}$  relevante Information enthalten. Die restlichen Koeffizienten werden nicht benötigt, so daß ihre Berechnung nicht erfolgen muß.

Das Filterverhalten der  $2N$ -FFT verdeutlicht Fig. 2. Eine Trägerinformation beinhaltet nur jeder zweite Koeffizient. Das bedeutet für die FFT, wie schon zu Fig. 1 beschrieben, daß nur diese Hälfte der Koeffizienten berechnet werden muß, die andere Hälfte muß dagegen nicht berücksichtigt werden. Für jeden Träger hat das Filterverhalten die Form einer  $\sin(x)/(2Nx)$  Funktion. Jede Funktion entspricht damit einem Filter, das einen der  $N$  Träger ohne Verluste durchläßt, die anderen dagegen aus dem Signal herausfiltert. Das absolute Maximum einer jeden Funktion stimmt hierbei mit den Nulldurchgängen der übrigen Filter überein. Die Maxima der Filter weisen einen reduzierten Abstand von  $f_{tr}/2$  auf und die Anzahl der Filter ist doppelt so groß wie bei einer  $N$ -FFT. Insbesondere sind die Durchlaßbereiche der jeweiligen Filter nur halb so breit wie bei einer  $N$ -FFT. Dieses bewirkt eine Verbesserung des Störabstandes, da:

- falls weißes Rauschen vorhanden ist, nur die Hälfte der Rauschleistung pro Träger im Vergleich zum herkömmlichen Fall

restlichen Koeffizienten nicht berücksichtigt werden müssen, sind diese und die entsprechenden Filter gerader Ordnung zur Erhöhung der Übersichtlichkeit in der Figur nicht dargestellt. Durch die Nyquist-Fensterung (Fig. 4C), d.h. kosinus roll-off gleich 1, klingen die Überschwinger der Filterfunktion viel früher ab als bei einem kosinus roll-off gleich 0.5 (Fig. 4B), oder einem Rechteckfenster (Fig. 4A), entsprechend kosinus roll-off gleich 0.

Die Nyquistfensterung hat damit folgende Vorteile:

- Verbesserung des Störabstandes beim Auftreten von weißem Rauschen bis zu 1.2dB, abhängig vom gewählten roll-off Faktor.
- Verringerung des Störabstandes, falls ein diskreter Störer im Nutzband vorhanden ist, wobei die betroffenen Träger weniger gestört und weniger Nachbarträger beeinflusst werden.
- Verbesserung des Störabstandes falls eine Frequenzabweichung oder Phasenrauschen vorhanden ist.

Die Verbesserung des Störabstandes am Beispiel des Auftretens von Frequenzabweichungen kann Fig. 5 entnommen werden. In dieser werden für eine 16QAM bei der Verwendung von 2048 Trägern Vektordiagramme für eine herkömmliche N-FFT (A) und eine erfindungsgemäße 2N-FFT mit Nyquist-Fensterung und roll-off=1 (B) gegenübergestellt. Jeder Punkt entspricht hierbei in den Diagrammen einem Träger. Für die herkömmliche N-FFT ist eine deutliche Streuung der Träger um die jeweiligen Sollwerte zu erkennen, die für das erfindungsgemäße Verfahren merklich abnimmt.

Die erfindungsgemäße Nachbarkanalfilterung wird in Fig. 6 erläutert. Der Nutzsignal-Kanal IS und die Nachbar-Kanäle NC grenzen hierbei unmittelbar aneinander. Das OFDM-Nutzsignal wird im Basisbandbereich mit einem anti-Aliasing-Filter, einer relativ einfachen analogen Filterung, selektiert und dann abgetastet. Die gestrichelte Linie F kennzeichnet hierbei die Frequenzcharakteristik der Filterung. Das Signal wird anschließend mit einer einfachen Überabtastung A/D umgesetzt. Von dem überabgetasteten Signal wird eine FFT der Länge 2N gebildet. Die N Koeffizienten 1 bis N/2 bzw. N/2+1 bis 2N

Überabtastung des OFDM-Signals im A/D-Wandler, die  $M_2 \cdot N$  Abtastwerte ergibt, auf die FIR-Filterung verzichtet werden. Mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit M erfolgt dann eine Frequenzanpassung der I/Q-Signale, bevor in einem Prozessor FFT die Trennung der Trägerfrequenzen durchgeführt wird. Hierfür wird eine Schnelle Fouriertransformation durchgeführt, wobei zur Verbesserung der Trägertrennung eine Fensterung mit Zeitfenstern der Breite  $M_1 \cdot T_s$  und eine Symbolverlängerung auf eine Symbollänge von  $M_1 \cdot T_s$  erfolgt. Die Länge der FFT wird entsprechend der Symbollänge und/oder der eventuell durchgeführten Überabtastung angepaßt und beträgt damit  $M_1 \cdot N$ ,  $M_2 \cdot N$  bzw. bei der gleichzeitigen Durchführung beider Verfahren  $M_1 \cdot M_2 \cdot N$ . Entsprechend wird im Prozessor nur der  $1/M_1$ -,  $1/M_2$ - bzw. der  $1/(M_1 \cdot M_2)$ -te Teil der Koeffizienten berechnet. Zur Erzeugung der neuen Symbole wird dem Prozessor FFT die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle von einer Detektoreinheit GI mitgeteilt, die aus dem empfangenen OFDM-Signal in bekannter Weise die Länge der Echos und der Guard-Intervalle ermittelt. Die Synchronisierung der Konversionseinheit IQ und des Prozessors FFT erfolgt durch eine Synchronisierungseinheit TS.

Die Erfindung kann z.B. in Decodern für DAB oder digital terrestrisches Fernsehen verwendet werden.

Bildung der neuen Symbole benutzten Teile der Guard-Intervalle zu ermöglichen.

6. Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen, bei denen eine Übertragung in mehreren Kanälen erfolgt, wobei je Kanal  $N$  Trägerfrequenzen verwendet werden und in einem Empfänger einer der Kanäle selektiert wird, eine Abtastung des Signals und eine Fouriertransformation erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Abtastung  $M_2 \cdot N$  Abtastwerte erzeugt werden, die Länge der Fouriertransformation  $M_2 \cdot N$  beträgt und durch die Fouriertransformation die mittleren  $N$  Koeffizienten berechnet werden.

7. Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen, bei dem die Merkmale von Anspruch 6 mit den Merkmalen von einem der Ansprüche 1 bis 5 kombiniert werden.

8. Schaltungsanordnung zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen für ein Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, bei der die übertragenen Signale einer ersten Einheit (IQ) zur Abtastung und Umwandlung in I/Q-Signale zugeführt werden, eine Frequenzanpassung mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit (M) erfolgt und in einem Prozessor (FFT) die Trennung der  $N$  Trägerfrequenzen durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Prozessor (FFT) neue Symbole der Dauer  $M_1 \cdot T_s$  erzeugt werden, eine Fensterung mit Zeitfenstern der Breite  $M_1 \cdot T_s$  erfolgt, eine Fouriertransformation der Länge  $M_1 \cdot N$  durchgeführt wird und nur jeder  $M_1$ -te Koeffizient berechnet wird.

9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Erzeugung der neuen Symbole die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle von einer Detektoreinheit (GI) bestimmt wird.



1/8

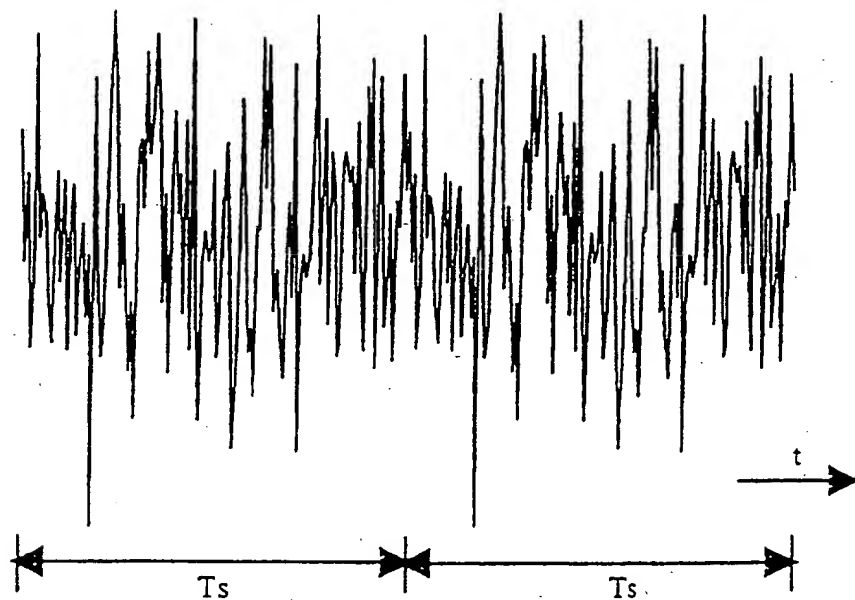


Fig. 1A

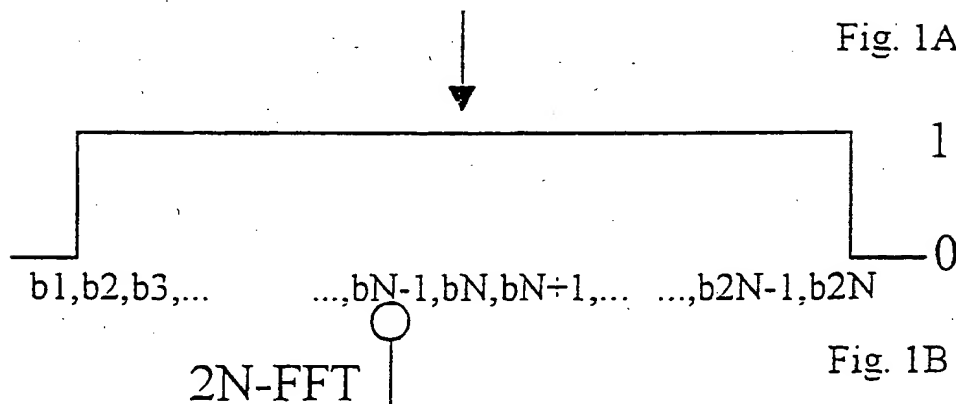


Fig. 1B

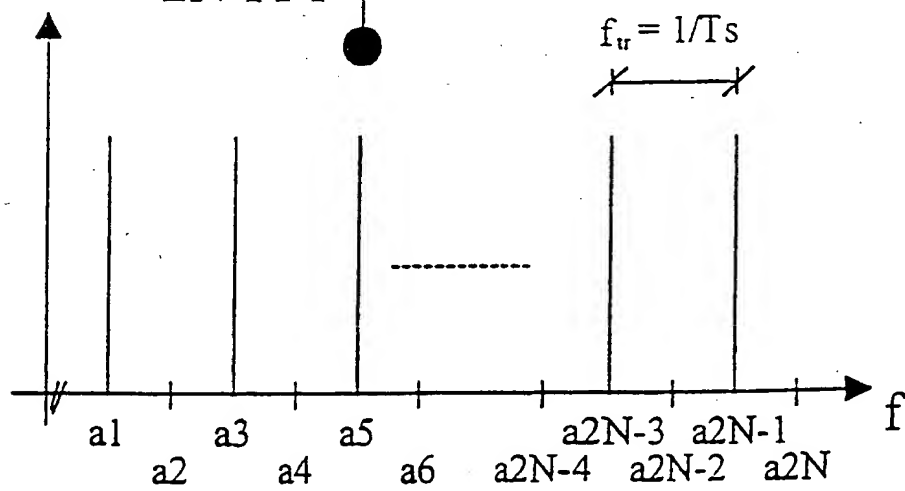


Fig. 1C

3/8

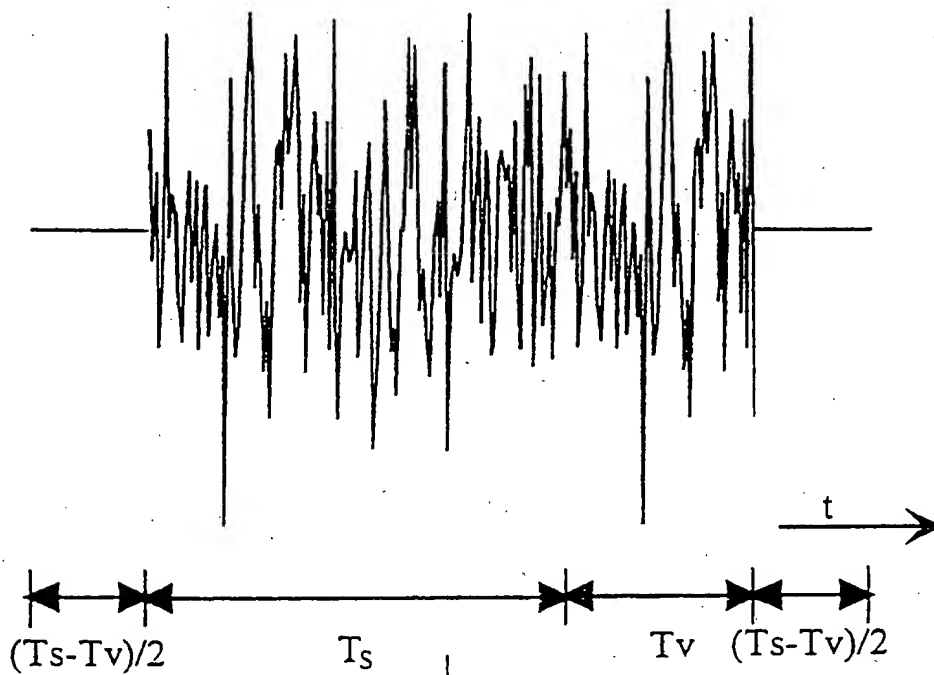


Fig. 3A

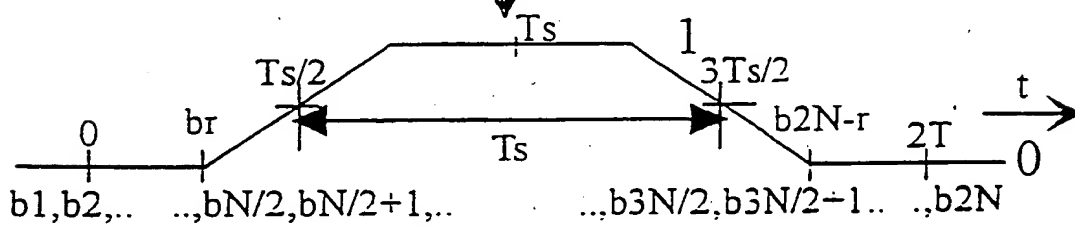


Fig. 3B

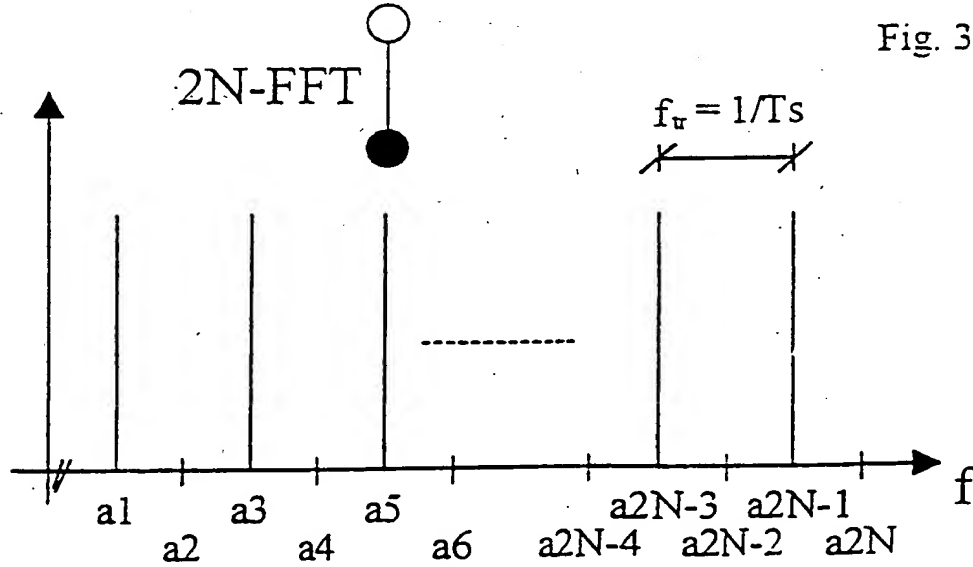


Fig. 3C

5/8

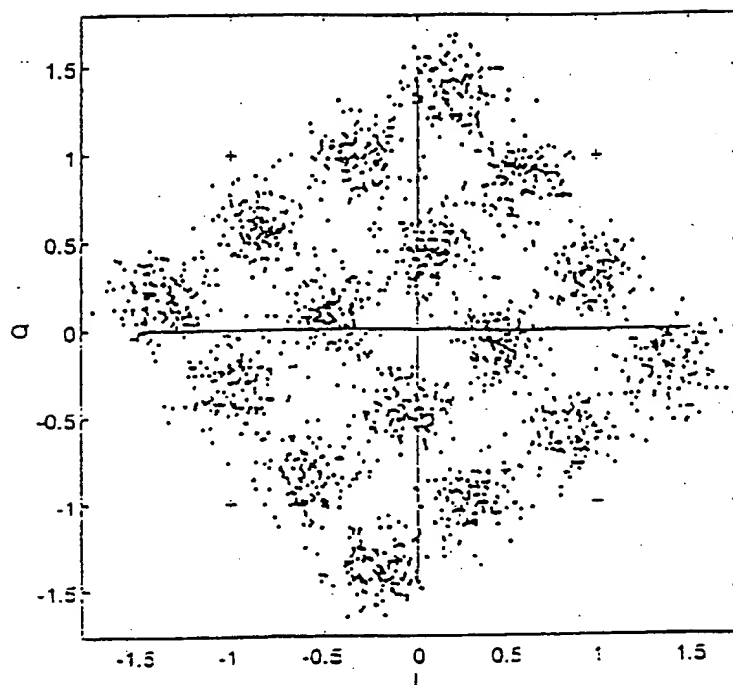


Fig. 5A

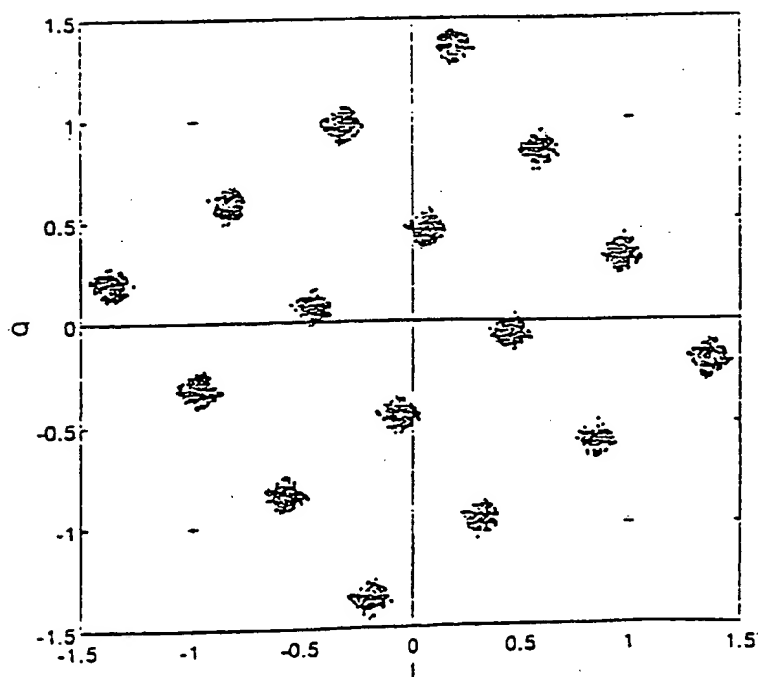


Fig. 5B

7/8

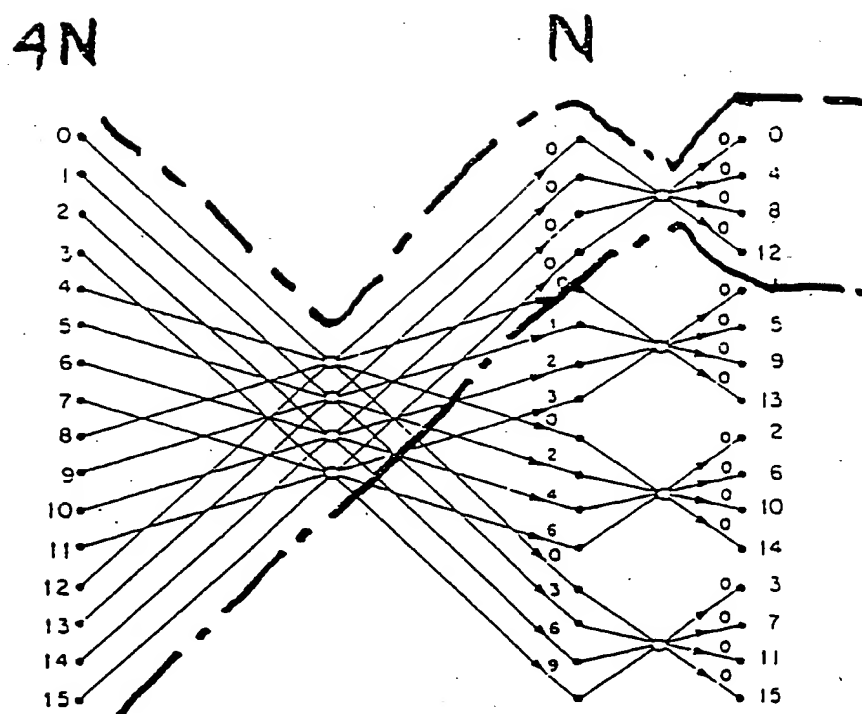


Fig.7

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 96/02209

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 H04L27/26 H04L5/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 H04L H04N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP,A,0 441 732 (ETAT FRANCAIS) 14 August 1991 see column 6, line 7	1-4,8,10
A	see figure 4	5,9
X	EP,A,0 613 267 (PHILIPS ) 31 August 1994 see column 6, line 1 - line 57	1,4,8,10
A	see figures 5,6 see claims 1-3	5,9
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 October 1996

Date of mailing of the international search report

25.10.96

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ghigliotti, L

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 96/02209

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0441732	14-08-91	FR-A- 2658018 DE-D- 69109323 DE-T- 69109323 US-A- 5357502	09-08-91 08-06-95 04-01-96 18-10-94
EP-A-0613267	31-08-94	CA-A- 2115118 JP-A- 6252878 US-A- 5416767	09-08-94 09-09-94 16-05-95
EP-A-0562868	29-09-93	CA-A- 2064975 US-A- 5282222	28-09-93 25-01-94

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATION TECHNOLOGY, Bd. 19, Nr. 5, 1.Oktober 1971, Seiten 628-634, XP000568061 WEINSTEIN S. B. ET AL.: "DATA TRANSMISSION BY FREQUENCY-DIVISION MULTIPLEXING USING THE DISCRETE FOURIER TRANSFORM" siehe Seite 629, linke Spalte, Zeile 13 - Zeile 30</p> <p style="text-align: center;">---</p>	6,11
A	<p>EP,A,0 562 868 (WI LAN) 29.September 1993 siehe Seite 7, Zeile 50 - Seite 8, Zeile 5 siehe Abbildung 6C</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1,7,8

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**